



---

# Naar energieneutrale varkensstallen met luchtre circulatie: de Enerlatiestal

Towards energy neutral pig houses with recirculation of air:  
the Enerlatiestal

André Aarnink, Rick Verhoij sen, Sjoerd Bokma



---

# Naar energieneutrale varkensstallen met luchtre circulatie: de Enerlatiestal

Towards energy neutral pig houses with recirculation of air: the Enerlatiestal

André Aarnink  
Rick Verhoij sen  
Sjoerd Bokma

Wageningen UR Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het  
Productschap Vee en Vlees

Wageningen UR Livestock Research  
Wageningen, november 2014

---

Livestock Research Rapport 814



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR



---

A.J.A. Aarnink, R. Verhoijssen en S. Bokma, 2014. *Naar energieneutrale varkensstallen met luchtrecirculatie: de Enerlatiestal; Towards energy neutral pig houses with recirculation of air: the Enerlatiestal*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 814. 27 blz.

#### Korte samenvatting

Dit rapport beschrijft een ontwerp van een energieneutrale stal voor vleesvarkens. Het belangrijkste principe van deze stal is recirculatie van ongeveer 80% van de uitgaande lucht na reiniging en koeling.

#### Short summary

A design of an energy neutral house for growing-finishing pigs was developed. The main principle is recirculation of approx. 80% of the exhaust air after cleaning and conditioning.

© 2014 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch). Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>11</b>
	2.1 Modelleren	11
	2.2 Karakteristieken van stal en dieren	11
	2.3 Scenario's	13
	2.4 Kosten	14
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>15</b>
	3.1 Luchtcondities op stalniveau	15
	3.2 Luchtcondities op afdelingsniveau	16
	3.2.1 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	16
	3.2.2 Concentraties CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> en PM <sub>10</sub>	18
	3.3 Energiegebruik en –productie	19
	3.3.1 Energiegebruik	19
	3.3.2 Energieproductie uit biogas en zonnepanelen	20
	3.4 Overall technische vergelijking van scenario's	21
	3.5 Kostenberekening	21
	3.6 Opbrengstberekening	25
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>27</b>

---

# Woord vooraf

In opdracht en met financiering van het Productschap voor Vee en Vlees is het themaproject Energie-neutrale stal van start gegaan met als doel om het energiebewustzijn binnen de varkenshouderij nader onder de aandacht te brengen en praktische oplossingen te onderzoeken en te demonstreren. Eén van de aandachtsvelden binnen dit themaproject was het ontwikkelen van een technisch ontwerp voor een zogenoemde EnerLatieststal, een stalsysteem met accent op energie, stalklimaat en milieu.

Voor u ligt het resultaat van dit ontwerp- en haalbaarheidsonderzoek. Drijvende kracht achter het project en de uitwerking is André Aarnink. Veel dank gaat uit naar Rick Verhoijssen, die in het kader van zijn Master thesis Agrarische Bedrijfstechnologie aan de Wageningen Universiteit veel en zeer deskundig werk heeft verzet bij het moduleren en doorrekenen van de ontwerpties. Eveneens dank aan het bedrijfsleven dat belangeloos gegevens beschikbaar heeft gesteld en kritisch heeft meegedacht en meegewogen in de deskundigendag waar de ontwerpresultaten zijn bediscussieerd.

De klankbordgroep Bedrijfsuitrusting van het PVV heeft haar tevredenheid uitgesproken over het behaalde resultaat en daagt het bedrijfsleven uit om het stokje nu over te nemen en het vervolg op te pakken richting een eerste realisatie van het ontwerp in de praktijk.

Sjoerd Bokma  
Projectleider



---

# Samenvatting

In varkensstallen wordt in de zomer heel veel, en in de winter vaak heel weinig geventileerd. Ventilatie wordt gebruikt om de temperatuur in de stal te regelen. Nadeel van zo'n regeling is dat de concentraties aan ongewenste gassen in de stal meebewegen met het ventilatiedebiet. Het gevolg hiervan is dat in de winterperiode de concentraties ammoniak, stof en( ziekte)kiemen in de stal erg hoog zijn. Dit wordt de laatste jaren nog versterkt door de stijgende energieprijzen waardoor menig varkenshouder de neiging heeft om 's winters nog wat minder te ventileren om zo op stookkosten te besparen. Doelstelling van dit project was om een integraal, praktisch stalsysteem te ontwikkelen met accent op energie, stalklimaat en milieu. Deze doelstelling kan voor een belangrijk deel worden gerealiseerd door de lucht die uit de stal komt te reinigen en te recirculeren. Enige verversing van lucht blijft nodig om zuurstof aan te voeren en kooldioxide en andere schadelijke gassen af te voeren. Het verwachte resultaat van dit ontwerp is dat de stal gedurende het gehele jaar vrijwel op hetzelfde niveau kan worden geventileerd, zonder dat dit extra energie kost voor verwarming. Het gemiddelde ventilatieniveau is vergelijkbaar met het huidige gemiddelde ventilatiedebiet, echter met zeer geringe fluctuaties. De verwachting is dat de luchtkwaliteit in de stal zodoende belangrijk verbeterd wordt en dat een goed en stabiel klimaat in de stal gedurende het gehele jaar gerealiseerd kan worden.

De focus in fase 1 van dit project lag op het verkennen van de haalbaarheid en het ontwikkelen van een technisch ontwerp. Hiertoe is in deze studie een rekenmodel ontwikkeld dat de consequenties van recirculatie van lucht kan doorrekenen voor wat betreft de energiebalans van de stal en de luchtkwaliteit in de stal. Hiervoor zijn verschillende nieuwe componenten ingebracht in een reeds bestaand computermodel voor het doorrekenen van de warmtebalans van reguliere stallen. De nieuwe componenten in het model zijn: een luchtwasser, een grondwaterwarmtewisselaar en een lucht-lucht warmtewisselaar. Naast de hiervoor genoemde berekeningen zijn tevens de additionele kosten van het systeem berekend en zijn de mogelijkheden onderzocht om de benodigde elektrische energie op het bedrijf zelf te produceren. Tenslotte is bepaald op welke wijze de additionele kosten van het systeem via betere productieresultaten kunnen worden terugverdiend.

Uit deze voorstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1) Recirculatie van lucht in een vleesvarkensstal is technisch mogelijk. Bij een gemiddeld debiet van 35 m<sup>3</sup>/uur per vleesvarken, waarbij ca. 20% van de lucht afkomstig is van buiten en 80% van de lucht wordt gerecirculeerd, kan een stabiel stalklimaat worden verkregen, met een constante temperatuur van de inkomende lucht en een geringe variatie in ventilatiedebiet.
- 2) Van de doorgerekende scenario's, Scenario 'constant debiet (35 m<sup>3</sup>/h)', Scenario 'variabel debiet' (30 – 40 m<sup>3</sup>/h) en Scenario 'constant debiet (35 m<sup>3</sup>/h) zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar', lijkt het laatste scenario de beste keus te zijn. Een tweede warmtewisselaar om de relatieve luchtvochtigheid van de inkomende lucht te verlagen lijkt niet noodzakelijk te zijn, en dit verlaagt de kosten van het systeem aanzienlijk.
- 3) In de stal met luchtrecirculatie is de concentratie ammoniak belangrijk verlaagd, de concentratie fijnstof enigszins verlaagd en de concentratie CO<sub>2</sub> verhoogd. De CO<sub>2</sub> concentratie blijft echter onder waarden die nadelig zouden kunnen zijn voor diergezondheid.
- 4) De emissies van ammoniak en fijnstof worden tot vrijwel nul gereduceerd; deze zijn volgens modelberekeningen respectievelijk 0,01 kg/jaar en 9,6 g/jaar per vleesvarkensplaats.
- 5) De jaarkosten van de stal met recirculatie zijn 7 tot 14 euro (afhankelijk van scenario) per vleesvarkensplaats hoger dan voor de referentiestal. Deze kosten kunnen ruim worden gecompenseerd door de verwachte extra groei en lagere voerconversie van de vleesvarkens.
- 6) De stal met luchtrecirculatie kan het best energieneutraal worden gemaakt door het plaatsen van zonnepanelen. Hiervoor moet ca. 350 m<sup>2</sup> van de beschikbare 560 m<sup>2</sup> van de zonzijde van het dak (i.e. ca. 65 %) worden vol gelegd met panelen. De zonnepanelen hebben een terugverdientijd van 8 jaar. Terwijl dit voor een warmtekrachtkoppeling op biogas meer dan 30 jaar is.





---

# 1 Inleiding

In varkensstallen wordt in de zomer heel veel, en in de winter vaak heel weinig geventileerd. Ventilatie wordt gebruikt om de temperatuur in de stal te regelen. Nadeel van zo'n regeling is dat de concentraties aan ongewenste gassen in de stal meebewegen met het ventilatiedebiet. Met als gevolg dat in de winterperiode de concentraties ammoniak, stof en (ziekte)kiemen in de stal erg hoog zijn. Dit wordt de laatste jaren nog versterkt door de stijgende energieprijzen waardoor menig varkenshouder de neiging heeft om 's winters nog wat minder te ventileren om zo op stookkosten te besparen.

Voor een optimaal klimaat zou er in de zomer minder lucht ververst hoeven te worden, als er maar genoeg warmte wordt afgevoerd. In de winter zou warmteafvoer juist voorkomen moeten worden. Wanneer de warmte in de uitgaande ventilatielucht teruggewonnen kan worden en opnieuw benut, ontstaan enorme besparingen van energie. Hierdoor kan op een zeer voordelige manier een optimaal stalklimaat gehandhaafd worden, en is er tevens extra warmte beschikbaar voor andere processen, zoals bijvoorbeeld biggennestverwarming. Een optimaal en constant klimaat bevordert de gezondheid en technische resultaten van de dieren. Hiernaast zal de in- en/of uitgaande stallucht optimaal behandeld kunnen worden, waardoor de verspreiding van ziektekiemen en emissie van ammoniak minimaliseert. De verminderde verspreiding van ziektekiemen past zeer goed in de recente doelstelling om de sector PRRS-vrij te maken en zal er toe bijdragen dat de maatschappelijke acceptatie verbeterd worden.

Doelstelling van dit project was om een voorstudie uit te voeren naar het ontwerp en de haalbaarheid van een integraal, praktisch klimaatbeheersingssysteem voor vleesvarkens met accent op energie, luchtkwaliteit en milieu, door middel van:

- Zonnepanelen
- Veel daglicht in de stallen
- Warmte uitwisseling tussen in- en uitgaande lucht
- Zuiveren en behandelen uitgaande lucht
- Energiebesparing door verminderde warmteafvoer via ventilatie
- Geconditioneerd klimaat door ondergrondse luchtinlaat gecombineerd met zomer- en winterstand ventilatie
- Lagere bouwhoogte

Voorgaande doelstellingen kunnen voor een belangrijk deel gerealiseerd worden door de lucht die uit de stal komt te reinigen en te recirculeren. Enige verversing van lucht blijft nodig om zuurstof aan te voeren en kooldioxide en andere schadelijke gassen af te voeren. De lucht die van buiten wordt aangevoerd kan zo nodig worden ontdaan van ziektekiemen door desinfectie met bijvoorbeeld Ultraviolet licht (UV<sub>C</sub>). De recirculatielucht wordt van ammoniak, stof en geurstoffen ontdaan met behulp van een luchtwasser. Deze lucht wordt vervolgens gekoeld en ontvochtigd om daarna weer teruggebracht te worden in de stal. Een klein deel van de gereinigde lucht, die gelijk is aan de hoeveelheid aangevoerde verse lucht, wordt afgevoerd.

Het verwachte resultaat van dit ontwerp is dat de stal gedurende het gehele jaar vrijwel op hetzelfde niveau kan worden geventileerd, zonder dat dit extra energie kost voor verwarming. Het gemiddelde ventilatieniveau is vergelijkbaar met het huidige gemiddelde ventilatiedebiet, echter met zeer geringe fluctuaties. De verwachting is dat de luchtkwaliteit in de stal zodoende belangrijk verbeterd wordt en dat een goed en stabiel klimaat in de stal gedurende het gehele jaar gerealiseerd kan worden. Daarnaast worden zeer lage emissies verwacht van ammoniak, geur en fijnstof. In deze notitie beperken we ons tot ammoniak en fijnstof.

Er is tot nu toe nog weinig onderzoek gedaan naar recirculatie van lucht in stallen. In Nederland is op het Varkensproefbedrijf in Raalte in de jaren '90 onderzoek gedaan aan het BB-air systeem van de Fa. Tolsma. In dit systeem werd de lucht ook voor een belangrijk deel gerecirculeerd na reiniging en conditionering. Dit onderzoek is gedaan in de dekstal (Mouwen en Plagge, 1995). In hun rapport wordt geconcludeerd dat dit systeem perspectieven biedt, vooral vanwege de zeer lage emissies uit deze stal.

---

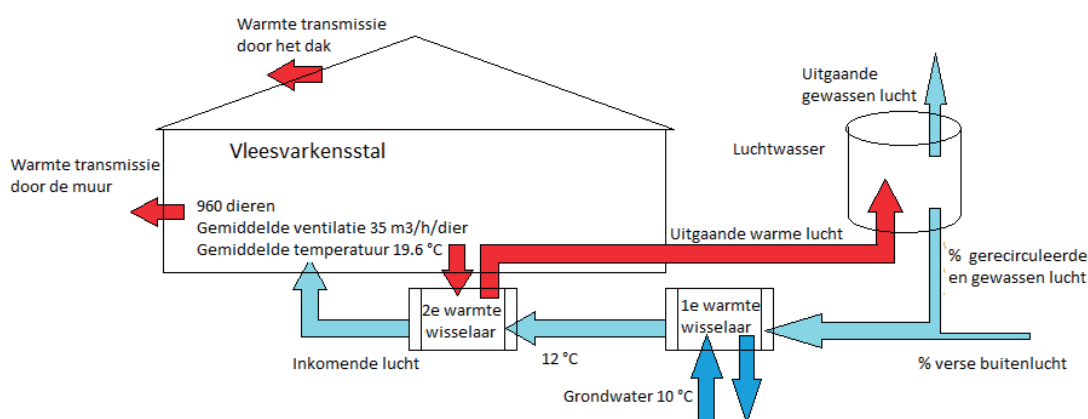
De focus in fase 1 van dit project ligt op het verkennen van de haalbaarheid en het ontwikkelen van een technisch ontwerp. Hiertoe is in deze studie een rekenmodel ontwikkeld dat de consequenties van recirculatie van lucht kan doorrekenen voor wat betreft de energiebalans van de stal en de luchtkwaliteit in de stal. Hiervoor zijn verschillende nieuwe componenten ingebracht in een reeds bestaand computermodel voor het doorrekenen van de warmtebalans van reguliere stallen (Van Ouwerkerk, 1999). De nieuwe componenten in het model zijn: een luchtwasser, een grondwaterwarmtewisselaar en een lucht-lucht warmtewisselaar. Naast de hiervoor genoemde berekeningen zijn tevens de additionele kosten van het systeem berekend en zijn de mogelijkheden onderzocht om de benodigde elektrische energie op het bedrijf zelf te produceren. Tenslotte is bepaald op welke wijze de additionele kosten van het systeem via betere productieresultaten kunnen worden terugverdiend.

De studie is uitgevoerd in opdracht van het Productschap voor Vee en Vlees (PVV) als onderdeel van het themaproject "Energie neutrale stal". Bij de uitvoering is intensief samengewerkt met de Leerstoelgroep Agrarische Bedrijfs-Technologie van de Wageningen Universiteit in de personen van MSc-student Rick Verhoijzen en Prof. Dr. Ir. Peter Groot Koerkamp. In het onderhavige rapport zijn de resultaten uit het MSc onderzoek van Rick Verhoijzen (Verhoijzen, 2012) verwerkt.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Modelleren

In figuur 1 wordt een schematisch overzicht gegeven van het gemodelleerde en doorgekende ontwerp. Uitgaande stallucht gaat naar de luchtwasser, waar de lucht voor een belangrijk deel wordt ontdaan van ammoniak (95% reductie) en fijnstof (70% reductie). Tevens wordt een deel van de geurcomponenten uit de lucht gewassen. Na de luchtwasser wordt een deel van de lucht uitgewisseld met verse buitenlucht. Vervolgens gaat de gemengde lucht (recirculatie- en verse lucht) naar de eerste warmtewisselaar. Daar wordt de lucht geconditioneerd (gekoeld) met grondwater tot een temperatuur van ca. 12°C. In een tweede warmtewisselaar kan de lucht aansluitend (eventueel) worden opgewarmd met ca. 1°C om de relatieve luchtvochtigheid terug te brengen van verzadigd naar ca. 90%. Ook kan eventueel in het systeem een warmtepomp worden opgenomen die de onttrokken warmte door de eerste warmtewisselaar kan opslaan in water met een temperatuur van ca. 50°C. Dit water kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor verwarming van de biggenafdelingen en de kraamafdelingen op een gesloten bedrijf. Ook kan met deze warmte het woonhuis worden verwarmd.



**Figuur 1.** Schematische tekening van de lucht- en warmtestromen in een vleesvarkensstal met luchtrecirculatie. Dit ontwerp was de basis voor de modelberekeningen.

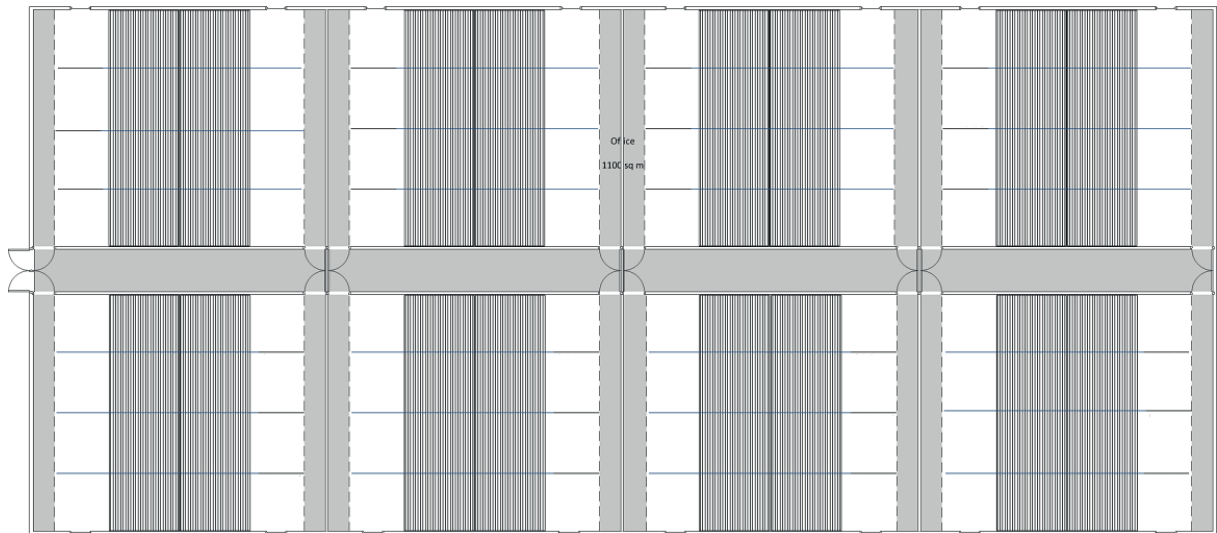
Van het ontwerp in figuur 1 is een rekenmodel gemaakt om de massa- en energiestromen van de lucht in het systeem te berekenen. Het rekenmodel is gemaakt met het softwarepakket Matlab (versie R2012a, MathWorks, 2012). Hierbij is gebruik gemaakt van een reeds bestaand model voor reguliere varkensstallen (Van Ouwerkerk, 1999). Aan dit bestaande model zijn de componenten in figuur 1 toegevoegd (luchtwasser, 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> warmtewisselaar). Voor het buitenklimaat is gebruik gemaakt van de zogenaamde graadurentabel. In deze tabel staat aangegeven gedurende hoeveel uren bepaalde (buiten)temperaturen voorkomen in het jaar. De temperaturen varieerden daarbij van -14 tot 29°C (Breuer et al., 1991). In deze tabel staan tevens de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid, de zonnestraling en de windsnelheid, die bij deze temperaturen horen.

### 2.2 Karakteristieken van stal en dieren

De gemodelleerde stal had 8 afdelingen met gedeeltelijk roostervloer voor 120 dieren (8 hokken van 15) (zie figuur 2). Elke twee weken komt een afdeling leeg en worden nieuwe biggen opgelegd. Het gebouw is 50 m lang en 22 m breed. De afdelingen zijn 12,5 m breed en 10 m lang. De centrale gang is 2 m breed. De nok van de stal was 5,94 m hoog en de zijmuren waren 2,3 m hoog. Elke afdeling had twee ramen met een oppervlak van ca. 0,63 m<sup>2</sup>.

In tabel 1 worden de uitgangspunten vermeld voor de modellering van de stal met recirculatie ten aanzien van diergewicht in de verschillende weken na opleg, de gewenste minimum en maximum

temperaturen, de minimum en maximum ventilaties en de groei van de dieren. Deze uitgangspunten zijn tevens gehanteerd voor de referentiestal zonder recirculatie, behalve dat de minimum en maximum ventilatiehoeveelheden anders waren. Deze zijn voor de referentiestal namelijk gebaseerd op het advies van het Klimaatplatform voor Varkens. Voor de referentiestal is uitgegaan van een traditionele stal, met een ammoniakproductie van 3,46 kg/jaar per vleesvarkensplaats (Mosquera et al., 2011) met een luchtwasser die de ammoniakemissie met 95% en de PM10 emissie met 70% reduceert. Voor de stal met luchtrecirculatie is uitgegaan van een emissiearme stal (1,40 kg/jaar per vleesvarkensplaats, te weten een hok met bolle vloer voorzien van een IC-V systeem). Voor de PM10 productie in de stal is voor alle scenario's uitgegaan van de waarde in de Rav-lijst van 153 g/jaar per vleesvarkensplaats ([www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)).



**Figuur 2.** Plattegrond van de gemodelleerde stal voor 960 dieren: 8 afdelingen met 120 dieren.

**Tabel 1**

*Uitgangspunten voor de modelberekeningen ten aanzien van aantal dieren, diergewicht, minimum en maximum gewenste temperaturen en ventilatiedebieten (bij luchtrecirculatie) en groeisnelheid.*

Week	Aantal dieren	Gewicht (kg)	Min. T (°C)	Max. T (°C)	Min. ventilatie (m <sup>3</sup> /h)	Max. ventilatie (m <sup>3</sup> /h)	Groei (g/d)
1	120	26.7	21.0	23.0	8.0	28.0	471
2	120	30.2	20.5	22.5	12.7	30.0	529
3	120	34.0	20.0	22.0	16.3	32.0	571
4	120	38.2	19.5	21.5	20.0	34.0	629
5	120	42.7	19.0	21.0	21.7	36.0	657
6	120	47.5	18.5	20.5	23.3	38.0	714
7	120	52.6	18.0	20.0	25.0	40.0	743
8	120	58.0	17.9	19.9	27.1	42.9	786
9	120	63.6	17.7	19.7	29.3	45.7	814
10	120	69.4	17.6	19.6	31.4	48.6	843
11	120	75.4	17.4	19.4	33.6	51.4	886
12	120	81.7	17.3	19.3	35.7	54.3	914
13	120	88.2	17.1	19.1	37.9	57.1	943
14	120	94.7	17.0	19.0	40.0	60.0	914
15	120	101.1	17.0	19.0	40.0	60.0	900
16	120	107.3	17.0	19.0	40.0	60.0	871

## 2.3 Scenario's

Naast een referentiescenario (een gangbaar geventileerde stal: Scenario 'referentie') zijn drie kansrijke alternatieve scenario's (technische ontwerpen) doorgerekend met het model:

- Scenario 'constant debiet': gemiddeld ventilatiedebiet over het jaar is constant en bedraagt 35 m<sup>3</sup>/uur per varken (code: SE1);
- Scenario 'variabel debiet': gemiddeld ventilatiedebiet wordt constant op 30 m<sup>3</sup>/uur per varken gehouden bij buitentemperaturen onder de 5°C en op 40 m<sup>3</sup>/uur per varken bij buitentemperaturen boven de 5°C (code: SE2);
- Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar': hetzelfde als scenario 1, behalve dat de tweede warmtewisselaar niet is geïnstalleerd (code: No he2='zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar').

Voor de scenario's 'constant debiet' en 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' is uitgegaan van een constant gemiddeld debiet, gebaseerd op het gemiddelde van de waarden die midden tussen de minimum en maximum ventilaties in liggen, zoals die zijn weergegeven in tabel 1. Dit betekent dat het maximale debiet in de stal tijdens warme perioden wat hoger en tijdens koude perioden wat lager zal zijn dan 35 m<sup>3</sup>/uur. Hetzelfde geldt voor scenario 'variabel debiet' met gemiddelde waarden in de winter van 30 m<sup>3</sup>/uur en in de zomer van 40 m<sup>3</sup>/uur.

Voor de verschillende scenario's zijn modelberekeningen gemaakt om het volgende te bepalen:

- Hoeveel lucht kan er gerecirculeerd worden en hoeveel lucht moet worden ververst onder de volgende randvoorwaarden:
  - De temperatuur blijft tussen de gewenste minimum en maximum temperatuur zoals weergegeven in tabel 1.
  - Concentratie CO<sub>2</sub> in de stal mag niet hoger worden dan 0,8 volume procent.
  - Concentratie ammoniak in de stal mag niet hoger worden dan 15 ppm.
- De consequenties van voorgaande voor de concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en PM10 in de stal
- De consequenties van voorgaande voor de temperatuur en luchtvochtigheid in de stal.



---

## 2.4 Kosten

De additionele kosten van het ontwerp met recirculatie van lucht zijn bepaald ten opzichte van de kosten voor een traditionele vleesvarkensstal met luchtwasser. De (additionele) kosten van de volgende componenten zijn doorgerekend:

- Luchtwasser;
- Water – lucht warmtewisselaar;
- Lucht – lucht warmtewisselaar;
- Ventilatoren;
- Luchtkanalen;

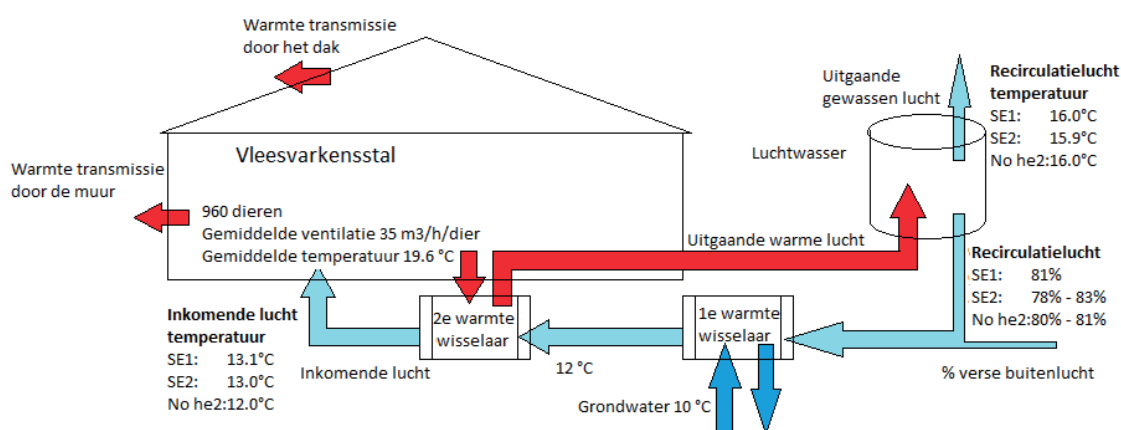
Om het totale energiegebruik te berekenen is het energieverbruik van de individuele componenten in het systeem bepaald met behulp van informatie van de leveranciers. Daarnaast is het totale drukverschil over het gehele recirculatiesysteem berekend. Op basis van dit drukverschil kon het energiegebruik van de ventilatoren worden afgeleid. De kosten voor het energiegebruik in de referentiestal is gebaseerd op gegevens uit KWIN-V 2009-2010. Voor berekening van additionele energiekosten zijn prijzen gehanteerd van € 0.14 / kWh voor elektriciteit en van € 0.578 / m<sup>3</sup> gas.

### 3 Resultaten

Er zijn veel resultaten verkregen bij de modelberekeningen. Het voert te ver om al deze resultaten te vermelden in dit rapport, daarom is een selectie gemaakt en worden in dit hoofdstuk de belangrijkste resultaten weergegeven. In paragraaf 3.1 worden de resultaten weergegeven van de luchtcondities bij recirculatie op stalniveau. In paragraaf 3.2 worden de resultaten vermeld van de berekeningen op afdelingsniveau en worden de resultaten van de verschillende recirculatie scenario's met elkaar vergeleken en met de referentie. In paragraaf 3.3 wordt het energiegebruik van de verschillende componenten in het systeem gerapporteerd en de benodigde energieproductie uit biogas en zonnepanelen om de stal energieneutraal te maken. In paragraaf 3.4 wordt een overall technische vergelijking gemaakt tussen de verschillende scenario's. Paragrafen 3.5 en 3.6, tenslotte, behandelen respectievelijk de resultaten van de kosten- en opbrengstberekeningen.

#### 3.1 Luchtcondities op stalniveau

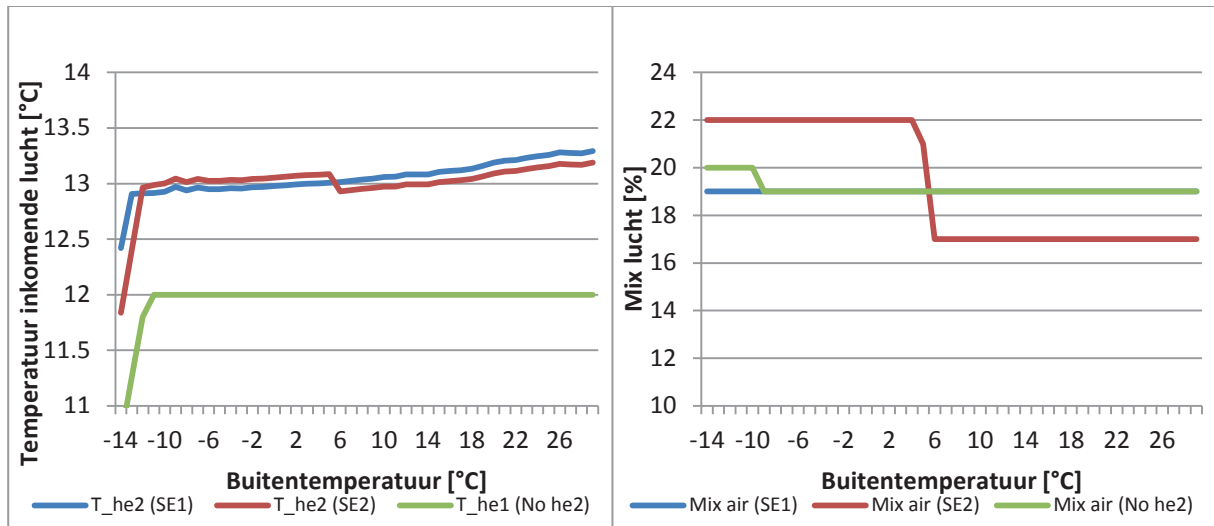
In figuur 3 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde temperaturen op verschillende locaties in het systeem voor de scenario's met recirculatie van lucht. In Scenario 'constant debiet' kan 81% van de lucht worden gerecirculeerd en 19% van de lucht wordt verversd. Bij een debiet van 35 m<sup>3</sup>/uur betekent dit een vervanging van 6,65 m<sup>3</sup>/uur buitenlucht per varken. De uitgaande stallucht heeft een gemiddelde temperatuur van 19,6°C en een gemiddelde luchtvochtigheid van ca. 70%. In de luchtwater wordt als gevolg van verdampingskoeling de lucht gekoeld naar 16,0°C en wordt de lucht verzadigd met vocht tot een luchtvochtigheid van vrijwel 100%. In de eerste warmtewisselaar wordt de lucht met behulp van grondwater aanvullend gekoeld tot een temperatuur van 12,0°C. In deze warmtewisselaar zal veel vocht condenseren. Dit vocht kan bijvoorbeeld hergebruikt worden in de luchtwater. In de tweede warmtewisselaar wordt de lucht ca. 1°C opgewarmd met de warmte in de uitgaande stallucht om de luchtvochtigheid onder de 90% te brengen. Voor Scenario 'variabel debiet' zijn de gemiddelde luchtcondities vergelijkbaar met Scenario 'constant debiet'. Aangezien de absolute hoeveelheid verse lucht gelijk is over het jaar, varieert het percentage verse lucht echter mee met de ventilatiehoeveelheid (gemiddeld 30 m<sup>3</sup>/uur in de winter en 40 m<sup>3</sup>/uur in de zomer). Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' is eveneens vergelijkbaar met voorgaande scenario's met het verschil dat de ingaande lucht in de stal een luchtvochtigheid heeft van 100% met een temperatuur van 12,0°C.



**Figuur 3** Schematische tekening van de lucht- en warmtestromen in een vleesvarkensstal met luchtrecirculatie. In de figuur zijn de gemiddelde temperaturen weergegeven zoals berekend met het rekenmodel. SE1='constant debiet'; SE2='variabel debiet'; No he2='zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'.

In figuur 4 wordt de conditie van de inkomende stallucht weergegeven bij verschillende temperaturen buiten. Hieruit blijkt dat de temperatuur van de inkomende stallucht vrijwel niet wordt beïnvloed door de (temperatuur)condities van de buitenlucht. Alleen bij zeer lage buitentemperaturen zal de

temperatuur van de ingaande stallucht iets (ca. 1°C ) onder de streefwaarde dalen. Het percentage verse lucht is ook vrijwel onafhankelijk van de buitencondities van de lucht. Dit percentage is vooral afhankelijk van de randvoorwaarde die gesteld is aan de maximale CO<sub>2</sub> concentratie.



**Figuur 4** Condities van de inkomende stallucht bij verschillende temperaturen van de buitenlucht voor de verschillende scenario's (SE1='constant debiet'; SE2='variabel debiet'; No he2='zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'); linker figuur: temperatuur inkomende stallucht; rechter figuur: percentage verse buitenlucht in de inkomende stallucht.

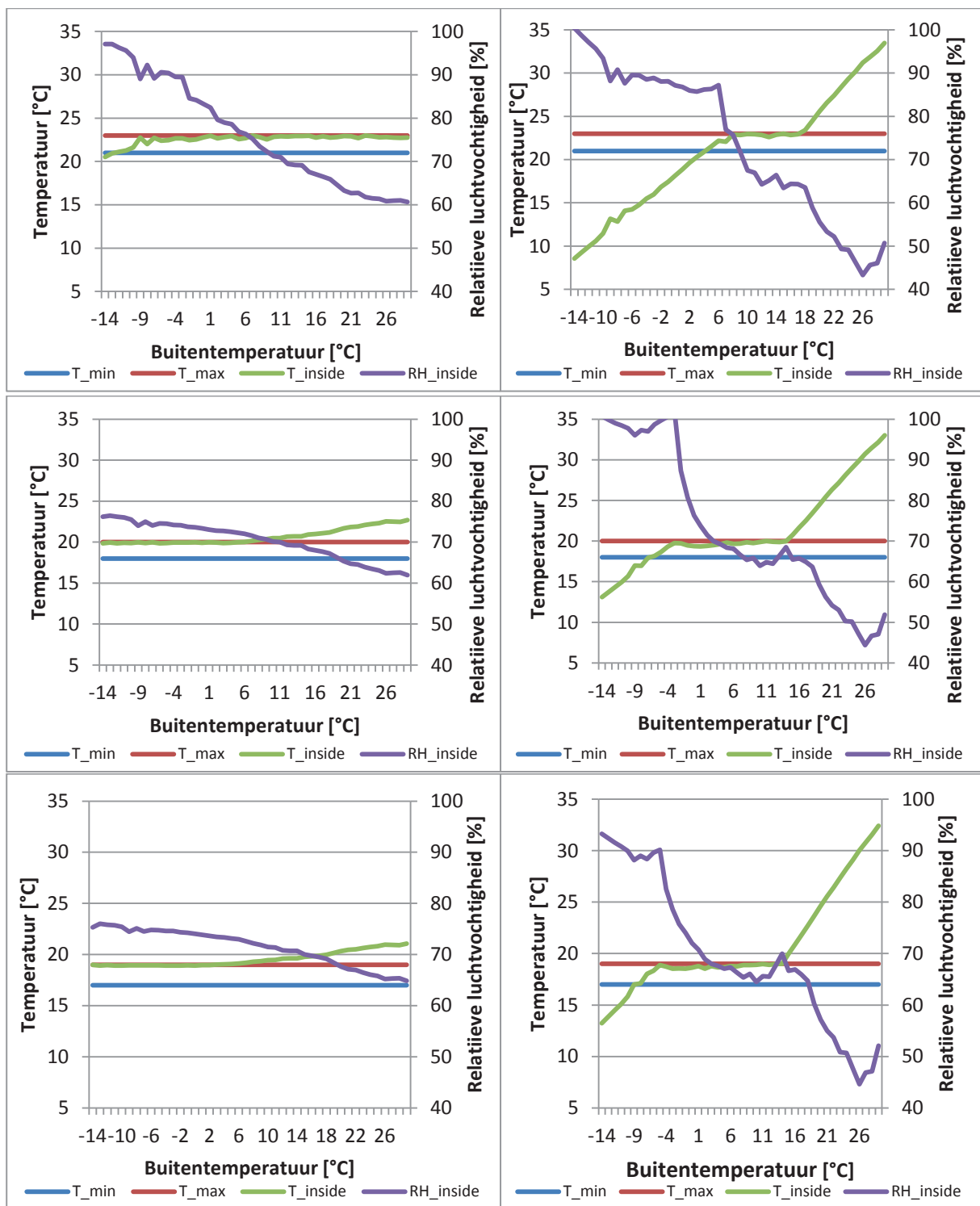
## 3.2 Luchtcondities op afdelingsniveau

De inkomende stallucht wordt verdeeld over de verschillende afdelingen. In elke afdeling zitten dieren in een verschillend productiestadium, variërend van 1 tot 16 weken na opleg. Deze afdelingen hebben daarom verschillende luchtcondities nodig (zie tabel 1). In de volgende paragrafen worden de consequenties van luchtrecirculatie op de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (paragraaf 3.2.1) en op de concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en PM10 (paragraaf 3.2.2) in de verschillende afdelingen weergegeven. Ter vereenvoudiging zijn alleen berekeningen gemaakt voor afdelingen met vleesvarkens op 1, 7 en 16 weken na opleg.

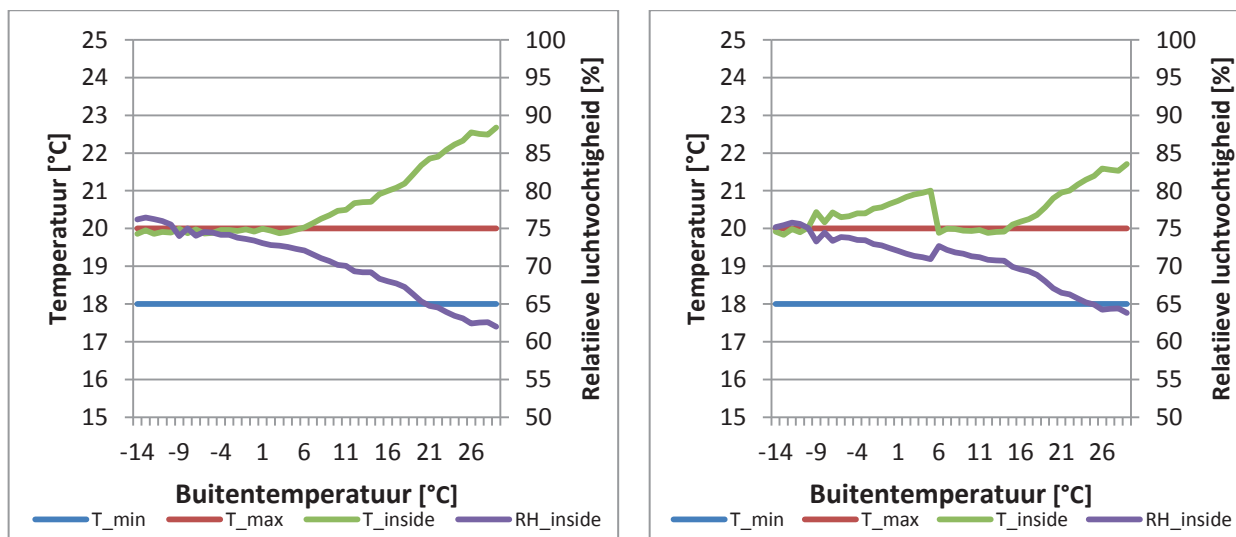
### 3.2.1 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

In figuur 5 worden de luchtcondities in de stal (T en RV) in afdelingen met vleesvarkens 1, 7 en 15 weken na opleg weergegeven. De linker figuren geven de situatie weer voor Scenario 'constant debiet' en de rechter figuren voor Scenario 'referentie'. In beide scenario's werd geen additionele verwarming toegepast. Uit deze figuren blijkt duidelijk dat als gevolg van recirculatie van lucht (Scenario 'constant debiet') de staltemperatuur en luchtvochtigheid veel minder variaties vertonen dan zonder recirculatie (Scenario 'referentie'). In de situatie van recirculatie van lucht is geen additionele verwarming nodig, behalve misschien onder extreem koude omstandigheden bij opleg van biggen. Dit zou bijvoorbeeld gerealiseerd kunnen worden door de afdeling met een heater voor te verwarmen. Voor dieren van 7 en 15 weken na opleg stijgt de staltemperatuur bij buitentemperaturen boven de 10°C boven de gewenste temperatuur uit. In de referentiesituatie gebeurt dit bij temperaturen boven de ca. 14°C. Het voordeel van het recirculatiesysteem is echter dat de staltemperatuur nooit meer dan 3°C hoger is dan de gewenste temperatuur, terwijl dit voor de referentiestal tot wel 14°C hoger kan zijn.

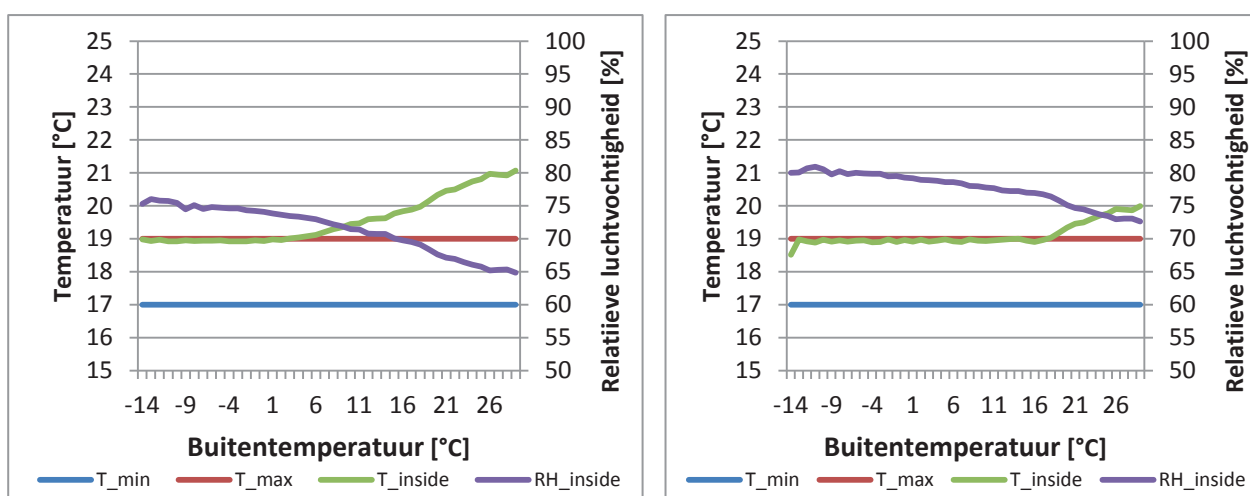
In figuur 6 is een vergelijking gemaakt tussen de scenario's 'constant debiet' en 'variabel debiet' voor wat betreft de luchtcondities in de stal (T en RV) in afdelingen met vleesvarkens 7 weken na opleg. Hieruit blijkt dat in het scenario 'variabel debiet' (30 m<sup>3</sup>/uur in de winter en 40 m<sup>3</sup>/uur in de zomer) de temperatuur in de zomer bij hoge temperaturen iets minder oploopt, alhoewel de verschillen niet groot zijn.



**Figuur 5** Luchtcondities in de stal (T en RV) in afdelingen met vleesvarkens 1 week na opleg (boven), 7 weken na opleg (midden) en 15 weken na opleg (onder). De linker figuren geven de situatie weer voor Scenario 'constant debiet' en de rechter figuren voor Scenario 'referentie'. In beide scenario's werd geen additionele verwarming toegepast.



**Figuur 6** Luchtcondities in de stal (T en RV) in afdelingen met vleesvarkens 7 weken na opleg. Vergelijking tussen de scenario's 'constant debit' (linker figuur) en 'variabel debit' (rechter figuur).



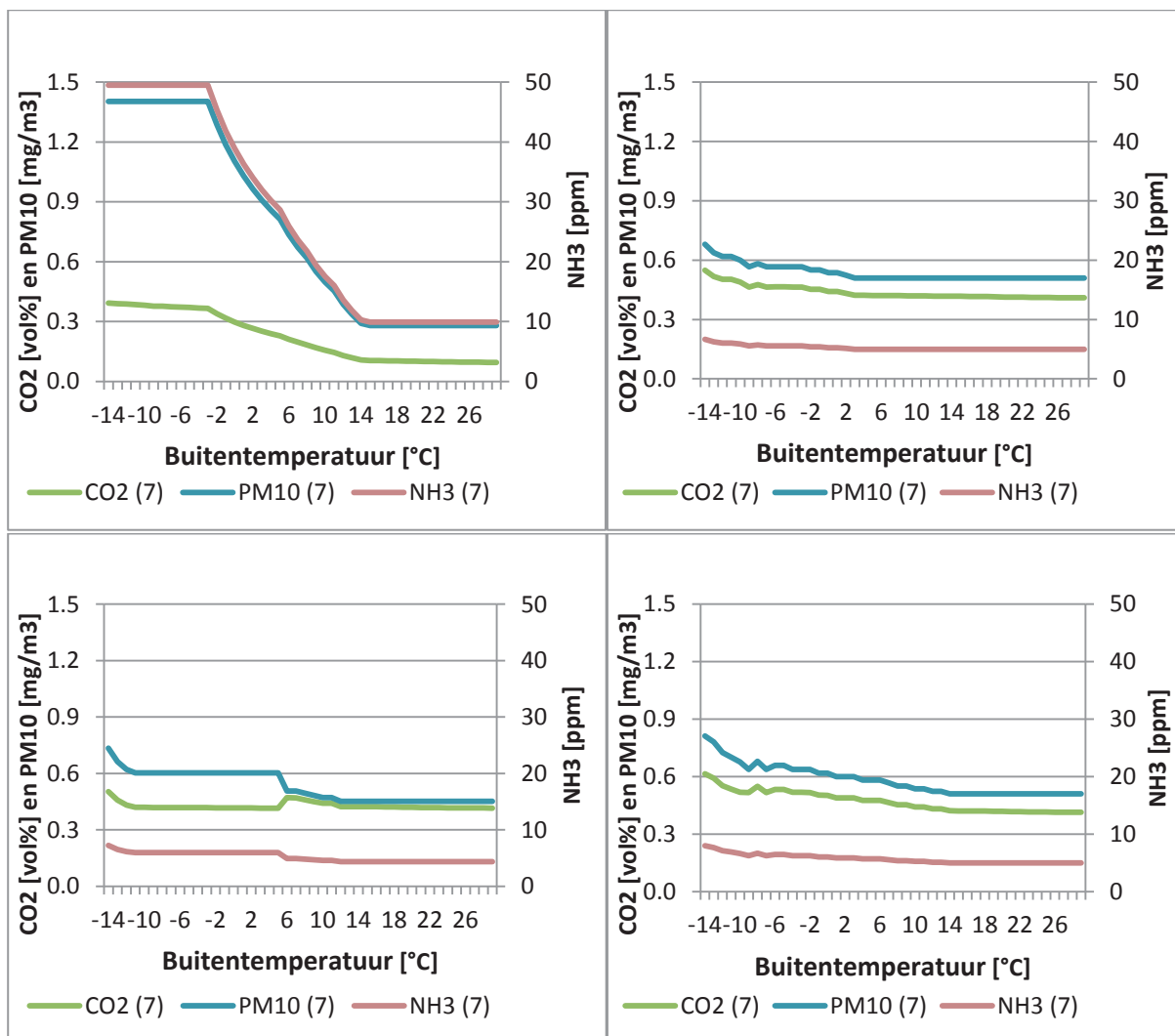
**Figuur 7** Luchtcondities in de stal (T en RV) in afdelingen met vleesvarkens 15 weken na opleg. Vergelijking tussen de scenario's met (Scenario 'constant debit'; figuur links) en zonder (Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'; figuur rechts) tweede warmtewisselaar.

In figuur 7 is een vergelijking gemaakt tussen de scenario's met (Scenario 'constant debit') en zonder (Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar') tweede warmtewisselaar in afdelingen met vleesvarkens 15 weken na opleg. Hieruit blijkt dat zonder de tweede warmtewisselaar de luchtvochtigheid in de stal wel enigszins toeneemt, maar dat deze voor deze leeftijdscategorie dieren ruim binnen acceptabele waarden blijft. Alleen bij jonge dieren (figuur niet weergegeven) kan de luchtvochtigheid bij extreem koude buitentemperaturen (<10°C) oplopen tot 100%. Een mogelijkheid voor bijverwarming voor deze jonge dieren, bijvoorbeeld via vloerverwarming, kan daarom gewenst zijn.

### 3.2.2 Concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en PM<sub>10</sub>

De concentraties kooldioxide (CO<sub>2</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>) in relatie tot de buitentemperatuur voor het referentie scenario en de drie scenario's met luchtrecirculatie worden weergegeven in figuur 8 voor vleesvarkens 7 weken na opleg. Uit deze figuur blijkt dat de NH<sub>3</sub> en PM<sub>10</sub> concentraties in de scenario's met recirculatie beduidend lager zijn dan voor het referentie scenario. In het referentie scenario kunnen ammoniakconcentraties oplopen tot 50 ppm, terwijl deze in de scenario's met recirculatie steeds onder de 10 ppm blijven. De CO<sub>2</sub> concentraties zijn echter hoger voor de scenario's met recirculatie dan voor het referentie scenario, met een maximum voor deze diergroep van 0,6 volume%. Tussen de scenario's met recirculatie zijn de verschillen relatief gering.





**Figuur 8** Concentraties kooldioxide (CO<sub>2</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en fijnstof (PM10) voor het referentie scenario (linksboven), scenario 'constant debiet' (rechtsboven), scenario 'variabel debiet' (linksonder) en scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' (rechtsonder) voor vleesvarkens 7 weken na opleg.

### 3.3 Energiegebruik en –productie

In deze paragraaf wordt het energiegebruik van de verschillende componenten in het systeem berekend (paragraaf 3.3.1). Tevens wordt in deze paragraaf berekend of deze (elektrische) energie geleverd kan worden met behulp van een warmtekrachtkoppeling (WKK) op biogas, geproduceerd uit de mengmest van de vleesvarkens of met behulp van zonnepanelen (paragraaf 3.3.2).

#### 3.3.1 Energiegebruik

In tabel 2 wordt het energiegebruik voor de vleesvarkensstal gegeven voor de vier scenario's. Uit de tabel blijkt dat het energiegebruik bij de scenario's met recirculatie beduidend hoger is dan voor het referentie scenario. Dit wordt veroorzaakt door de aanvullende componenten (warmtepomp en warmtewisselaar) en door de hogere tegendruk die de ventilatoren moeten overwinnen in de scenario's met recirculatie. De tegendruk in het referentie scenario is ca. 50 Pa, terwijl deze ca. 140 Pa is voor Scenario "constant debiet", ca. 120 en 165 Pa voor Scenario 'variabel debiet' voor respectievelijk de winter- en zomerperiode, en ca. 125 Pa voor Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'.

**Tabel 2**

Energiegebruik in de vleesvarkensstal voor de vier scenario's: referentie, 'constant debiet' (1), 'variabel debiet' (2), 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' (3).

	Energiegebruik [kWh/jaar per vleesvarkensplaats]			
	Referentie	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Warmtepomp	-	5,2	5,2	5,2
Ventilatoren	21,9	29,3	33,0	26,9
1 <sup>e</sup> warmtewisselaar	-	2,0	1,0	2,1
Luchtwater	16,4	17,5	18,5	17,5
Totaal	38,3	54,0	57,7	51,7

Berekeningen laten zien dat een gesloten bedrijf met 960 vleesvarkens en 125 zeugen, met bijbehorende biggen, een warmtebehoefte heeft van 22.3 kWh per vleesvarkensplaats per jaar (hierbij is de totale energiebehoefte op het bedrijf omgerekend naar de behoefte per vleesvarkensplaats op het bedrijf). Met de warmtepomp kan in deze energiebehoefte worden voorzien.

### 3.3.2 Energieproductie uit biogas en zonnepanelen

Uit de vorige paragraaf blijkt dat er respectievelijk 54,0, 57,7 en 51,7 kWh/jaar per vleesvarkensplaats nodig is om de vleesvarkensstal energieneutraal te laten draaien voor respectievelijk de scenario's 'constant debiet', 'variabel debiet' en 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'. Dit is exclusief de elektriciteit benodigd voor verlichting.

Op basis van literatuurgegevens is berekend dat de opbrengst aan elektrische energie bij gebruik van een WKK op biogas ca.  $6,2 \cdot 10^{-2}$  kWh / kg mest bedraagt. Hieruit kan berekend worden dat, om energieneutraal te draaien in de vleesvarkensstal, respectievelijk ca. 835, 890 en 800 ton mest nodig is voor de scenario's 'constant debiet', 'variabel debiet' en 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'. De 960 vleesvarkens in de stal zullen ruim voldoen aan deze mestproductie-eis.

Zonnepanelen hebben een opbrengst van ca. 150 kWh/m<sup>2</sup>. Om de energiebehoefte van de vleesvarkensstal te dekken met zonnepanelen zijn oppervlakten zonnepanelen nodig van respectievelijk 345, 370 en 330 m<sup>2</sup> voor de scenario's 'constant debiet', 'variabel debiet' en 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'. Het dak aan de zonzijde van de stal (de helft van het totale dakoppervlak) heeft een oppervlak van ca. 560 m<sup>2</sup>. Dit betekent dat ook met zonnepanelen ruim aan de totale energiebehoefte van de stal kan worden voldaan.

---

### 3.4 Overall technische vergelijking van scenario's

In tabel 3 wordt de overall technische vergelijking gegeven tussen de verschillende scenario's voor de drie diergroepen. In deze tabel wordt een vergelijking gemaakt in ventilatiehoeveelheden, warmte- en koelbehoefte en concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en PM10. Uit deze tabel blijkt dat de minimum ventilatie voor de dieren 1 week na opleg niet veel verschilt tussen de verschillende scenario's. De minimum ventilatie voor dieren 7 en 15 weken na opleg is echter veel hoger in de scenario's met luchtrecirculatie. De maximum ventilatie verschilt ook weinig tussen de scenario's voor dieren 1 week na opleg, maar is beduidend lager bij dieren van 7 en 15 weken na opleg voor de scenario's met luchtrecirculatie. De verschillen in debiet tussen minimum en maximum ventilatie zijn voor de referentie scenario veel hoger dan voor de scenario's met luchtrecirculatie. Dit geldt in mindere mate voor de dieren 1 week na opleg. Bij de referentie scenario is er een warmtebehoefte voor dieren 1 week na opleg en een zeer geringe warmtebehoefte voor dieren van 7 en 15 weken oud. Voor de scenario's met luchtrecirculatie is er geen warmtebehoefte, vanwege de constante temperatuur van de inkomende lucht. De koelbehoefte, waarbij is berekend hoeveel de lucht gekoeld moet worden om de dieren constant onder de maximaal gewenste temperatuur te houden, zoals weergegeven in tabel 1, is beduidend hoger voor de referentie scenario dan voor de scenario's met luchtrecirculatie. Voor Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' is de koelbehoefte weer beduidend lager dan voor de scenario's 'constant debiet' en 'variabel debiet'. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat in Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' de temperatuur van de ingaande lucht ca. 1°C lager is dan bij de andere twee scenario's met luchtrecirculatie.

De gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie is beduidend hoger voor de scenario's met luchtrecirculatie dan voor het referentie scenario. CO<sub>2</sub> wordt door de luchtwasser niet uit de lucht gewassen en zal daardoor toenemen in concentratie. De gemiddelde NH<sub>3</sub> concentratie is beduidend lager in de scenario's met luchtrecirculatie dan voor het referentie scenario. De gemiddelde PM10 concentraties zijn redelijk vergelijkbaar tussen de verschillende scenario's.

De ammoniakemissie is in de scenario's met luchtrecirculatie vrijwel tot nul gereduceerd (0,01 kg/jaar per vleesvarkensplaats). Ook de PM10 emissie is zeer laag bij luchtrecirculatie (9,6 g/jaar per vleesvarkensplaats). In het referentiescenario, waar ook een vergelijkbare luchtwasser wordt gebruikt als bij het recirculatiesysteem, zijn de emissies voor NH<sub>3</sub> en PM10 per vleesvarkensplaats respectievelijk 0,18 kg/jaar en 31,0 g/jaar.

### 3.5 Kostenberekening

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de kosten van de drie scenario's met luchtrecirculatie in vergelijking met het referentie scenario. Hierbij zijn de kosten gespecificeerd naar componenten die aanvullend nodig zijn of anders zijn voor een stal met recirculatie van lucht ten opzichte van de referentiestal. De kosten zijn weergegeven als investeringskosten en jaarlijkse kosten per vleesvarkensplaats.

Uit deze kostenberekening blijkt dat de kosten voor een luchtwasser hoger zijn voor de referentiestal dan voor de stallen met luchtrecirculatie. Dit wordt veroorzaakt doordat de stallen met luchtrecirculatie een lager maximaal debiet hebben, waardoor de capaciteit van de luchtwasser kan worden gereduceerd. Voor Scenario 'variabel debiet' zijn de kosten van de luchtwasser om dezelfde reden hoger dan voor Scenario 'constant debiet' en Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'. De investeringskosten van de 1<sup>e</sup> warmtewisselaar zijn 58 euro en van de 2<sup>e</sup> warmtewisselaar ca. 33 euro per vleesvarkensplaats. De investerings- en jaarkosten voor Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' worden belangrijk gereduceerd doordat in dit scenario de 2<sup>e</sup> warmtewisselaar ontbreekt. De warmtepomp vergt een investering van 7,17 euro per vleesvarkensplaats. Hiermee kan de rest van het gesloten bedrijf worden voorzien van de benodigde verwarming. Voor de referentiestal is geen luchtkanaal onder de centrale gang nodig, zoals in de scenario's met luchtrecirculatie. Voor beide staltypen is wel een centraal luchtkanaal in de nok nodig, om de lucht naar de luchtwasser te brengen. Voor de scenario's met luchtrecirculatie is extra ruimte nodig voor de installatie. De kosten voor elektriciteit nemen toe voor de scenario's met luchtrecirculatie. Daar staat tegenover dat er geen kosten gemaakt hoeven te worden voor verwarming, zodat de kosten voor gas nul zijn. De totale additionele investeringskosten zijn 141, 149 en 108 euro per vleesvarkensplaats hoger voor respectievelijk Scenario 'constant debiet', Scenario 'variabel debiet' en Scenario 'zonder 2<sup>e</sup>

---

warmtewisselaar' ten opzichte van Scenario 'Referentie'. De additionele jaarkosten ten opzichte van Scenario 'Referentie' zijn per vleesvarkensplaats 11,5 euro hoger voor Scenario 'constant debiet', 14,1 euro hoger voor Scenario 'variabel debiet' en 6,8 euro hoger voor Scenario 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar'. Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze tabel geen rekening is gehouden met de optie om geen verwarmingsketel en eventueel geen vloerverwarming te installeren in de stal met luchtrecirculatie.

Het (vrijwel) kiemvrij maken van de lucht die van buiten komt kan gerealiseerd worden met UV<sub>C</sub> lampen. De extra kosten hiervoor bedragen ca. € 3,10 per vleesvarkensplaats per jaar. Voor een reguliere stal bedragen deze kosten een veelvoud daarvan (ruim 4x zo veel), vanwege het veel hogere ventilatiedebiet. Wanneer tevens de uitgaande lucht wordt behandeld met UV<sub>C</sub> dan nemen de kosten met bijna een factor 2 toe.

In tabel 5 is een vergelijking gemaakt in kosten, opbrengsten en terugverdientijd tussen zonnepanelen en een biogasinstallatie. Hieruit blijkt dat voor deze stal zonnepanelen het meest kosteneffectief zijn voor productie van groene elektriciteit. Zonnepanelen hebben bij een rente van 5% een terugverdientijd van 8 jaar

**Tabel 3**

Overall technische vergelijking tussen de verschillende scenario's voor de drie diergroepen. Vergelijking van ventilatiehoeveelheden, warmte- en koelbehoefte, concentraties CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en PM10 en emissies NH<sub>3</sub> en PM10.

Scenario's en weken na opleg													
Eenheid		Scenario 'referentie'			Scenario 'constant debiet'			Scenario 'variabel debiet'			Scenario 'zonder 2 <sup>e</sup> warmtewisselaar'		
		1	7	15	1	7	15	1	7	15	1	7	15
Min. vent.	[m³/uur] <sup>1)</sup>	7	11	14	8	25	40	7	21	34	8	25	40
Max. vent.	[m³/uur] <sup>1)</sup>	30	55	80	28	40	60	32	46	69	28	40	60,0
Gem. vent.	[m³/uur] <sup>1)</sup>	15	31	45	14	38	58	13	39	59	12	36	54
Warmtebeh.	[MJ] <sup>1)</sup>	39	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koelbeh.	[MJ] <sup>1)</sup>	118	552	857	0	229	304	0	153	206	0	46	27
Gem. [CO2]	[vol%]	0,23	0,18	0,16	0,68	0,42	0,35	0,69	0,43	0,36	0,74	0,45	0,38
Gem. [NH3]	[ppm]	44,1	21,2	18,9	7,8	5,0	5,7	7,8	5,0	5,6	8,6	5,4	6,2
Gem. [PM10]	[mg/m³]	0,80	0,60	0,71	0,86	0,51	0,56	0,86	0,51	0,56	0,95	0,55	0,61
NH3 emissie	[kg/jaar] <sup>2)</sup>		0,18			0,01			0,01			0,01	
PM10 emissie	[g/jaar] <sup>2)</sup>		31,0			9,6			9,6			9,6	

1) Per dier

2) Per vleesvarkensplaats; gemiddelde jaaremissies zijn gegeven



**Tabel 4**

*Kostenberekening van de drie scenario's met luchtrecirculatie in vergelijking met het referentie scenario. De kosten zijn gespecificeerd naar componenten die aanvullend nodig zijn of anders zijn voor een stal met recirculatie van lucht ten opzichte van de referentiestal. De kosten zijn weergegeven als investeringskosten en jaarlijkse kosten per vleesvarkensplaats.*

Kosten in euro per vleesvarkensplaats								
	Scenario 'Referentie'		Scenario 'constant debiet'		Scenario 'variabel debiet'		Scenario 'zonder 2 <sup>e</sup> warmtewisselaar'	
	Investering	Jaarlijks	Investering	Jaarlijks	Investering	Jaarlijks	Investering	Jaarlijks
Luchtwater	48,96	6,65	31,25	4,25	38,54	5,24	31,25	4,25
1e warmtewisselaar	-	-	58,02	7,88	58,02	7,88	58,02	7,88
2e warmtewisselaar	-	-	32,50	4,42	33,54	5,48	-	-
Warmtepomp	-	-	7,17	0,97	7,17	0,97	7,17	0,97
Luchtkanaal onder	-	-	47,08	3,42	47,08	3,42	47,08	3,42
Luchtkanaal boven	17,50	1,27	12,19	0,89	12,19	0,89	12,19	0,89
Ruimte voor installatie	-	-	15,63	1,14	15,63	1,14	15,63	1,14
<b>Subtotaal</b>	<b>66,46</b>	<b>7,92</b>	<b>207,08</b>	<b>23,40</b>	<b>215,41</b>	<b>25,45</b>	<b>174,58</b>	<b>18,99</b>
Elektriciteit	-	5,36	-	7,56	-	8,07	-	7,24
Gas	-	6,15 <sup>1)</sup>	-	0,00	-	0,00	-	0,00
<b>Totaal</b>	<b>66,46</b>	<b>19,43</b>	<b>207,08</b>	<b>30,96</b>	<b>215,41</b>	<b>33,52</b>	<b>174,58</b>	<b>26,22</b>

**Tabel 5**

*Vergelijking in kosten en terugverdientijd tussen zonnepanelen en een biogasinstallatie voor productie van groene elektriciteit bij een rente van 5%. Prijzen worden weergegeven in euro per m<sup>2</sup> zonnepaneel of per m<sup>3</sup> mest.*

	Zonnepanelen		Biogasinstallatie	
Investering	135	[€ / m <sup>2</sup> ]	146	[€ / m <sup>3</sup> ]
Energieopbrengst	21	[€ / m <sup>2</sup> ]	9	[€ / m <sup>3</sup> ]
Rente	5	[%]	5	[%]
Terugverdientijd	8.0	[jaar]	33.7	[jaar]

### 3.6 Opbrengstberekening

De verwachting is dat de varkens in de stal met recirculatie van lucht beduidend beter zullen presteren dan in de referentiestal. Deze verwachting is gebaseerd op het feit dat in een stal met luchtrecirculatie het klimaat zeer constant is, met weinig variatie in ventilatiehoeveelheid en een vrijwel constante temperatuur van de inkomende lucht. Daarnaast is de concentratie van vervuulende componenten in het algemeen lager dan in een referentiestal, dit geldt vooral voor ammoniak en in iets mindere mate voor fijnstof. Als aanvullend de inkomende lucht wordt gereinigd van ziektekiemen, kan een verdere verbetering van de productieresultaten worden verwacht. Daarnaast zal veel minder antibioticum nodig zijn. Het is belangrijk dat de opgelegde biggen van een 'schoon' bedrijf afkomstig zijn en geen ziektekiemen inslepen. Bij voorkeur wordt er voor gekozen om de biggen ook in een stal met recirculatie van lucht op te fokken. Uit onderzoek van Van Krimpen (2003) blijkt dat er dan een groter effect op de productieresultaten mag worden verwacht. Van der Peet-Schwering et al. (2009) geven aan dat genetisch gezien vleesvarkens in staat zijn om meer dan 1000 gram per dag te groeien. In de praktijk blijft het gemiddelde echter steken onder de 800 gram groei per dag. De voerconversie ligt al jaren rond de 2,7, terwijl een voerconversie van 2,4 à 2,5 haalbaar moet zijn. In voornoemd rapport geven Van der Peet-Schwering et al. aan dat naast de voeding, de huisvesting, het stalklimaat en hygiëne belangrijke succesfactoren zijn voor betere productieresultaten bij de vleesvarkens.

In tabel 6 is berekend hoeveel beter de productieresultaten van de vleesvarkens moeten zijn om de extra kosten voor het luchtrecirculatiesysteem met conditionering van de lucht te compenseren. De extra kosten kunnen enerzijds worden gecompenseerd door een hogere groeisnelheid, waardoor meer varkens per jaar kunnen worden afgeleverd en anderzijds door een lagere voerconversie, waardoor de voerkosten afnemen bij een gelijke groei. Uit de tabel blijkt dat voor de scenario's 'constant debiet', 'variabel debiet' en 'zonder 2<sup>e</sup> warmtewisselaar' de groei met respectievelijk 135, 165 en 79 g/d moet toenemen om de extra kosten te compenseren. Deze extra kosten kunnen ook gecompenseerd worden door een lagere voerconversie van respectievelijk 0,19, 0,24 en 0,11 kg voer per kg groei.

De kosten van de UV<sub>C</sub> installatie kunnen terug verdiend worden door betere productieresultaten. De UV<sub>C</sub> installatie zorgt er voor dat er geen ziektes via de lucht de stal in kunnen komen. Bij een goede hygiëne op het gehele bedrijf, waardoor geen insleep kan plaatsvinden via andere routes, kunnen op deze manier ziektes worden buitengesloten. Als dit meer dan 45 g/d aan extra groei oplevert of meer dan 0,06 lagere voerconversie dan worden deze kosten terug verdiend.

De verwachting is dat met dit concept de extra kosten van luchtrecirculatie, inclusief UV<sub>C</sub> installatie, ruim worden gecompenseerd als gevolg van betere productieresultaten. Hierbij is het verwachte zeer lage antibioticumgebruik nog buiten beschouwing gelaten.

**Tabel 6**

*Extra jaarkosten voor de verschillende scenario's en de benodigde extra groei of lagere voerconversie om deze extra kosten te compenseren.*


	Scenario 'constant debiet'	Scenario 'variabel debiet'	Scenario 'zonder 2 <sup>e</sup> warmtewisselaar'
Extra jaarkosten per vleesvarkensplaats	€ 11,53	€ 14,09	€ 6,79
Benodigde extra groei (g/d)	135	165	79
Benodigde lagere voerconversie (kg/kg)	0,19	0,24	0,11

---

## 4 Conclusies

Uit deze voorstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1 Recirculatie van lucht in een vleesvarkensstal is technisch mogelijk. Bij een gemiddeld debiet van lucht wordt gerecirculeerd, kan een stabiel stalklimaat worden verkregen, met een constante temperatuur van de inkomende lucht en een geringe variatie in ventilatiedebiet.
- 2 Van de doorgerekende scenario's, Scenario 'constant debiet (35 m<sup>3</sup>/h)', Scenario 'variabel debiet' (30 – 40 m<sup>3</sup>/h) en Scenario 'constant debiet (35 m<sup>3</sup>/h) zonder 2e warmtewisselaar', lijkt het laatste scenario de beste keus te zijn. Een tweede warmtewisselaar om de relatieve luchtvochtigheid van de inkomende lucht te verlagen lijkt niet noodzakelijk te zijn, en dit verlaagt de kosten van het systeem aanzienlijk.
- 3) In de stal met luchtrecirculatie is de concentratie ammoniak belangrijk verlaagd, de concentratie fijnstof enigszins verlaagd en de concentratie CO<sub>2</sub> verhoogd. De CO<sub>2</sub> concentratie blijft echter onder waarden die nadelig zouden kunnen zijn voor diergezondheid.
- 4) De emissies van ammoniak en fijnstof worden tot vrijwel nul gereduceerd; deze zijn volgens modelberekeningen respectievelijk 0,01 kg/jaar en 9,6 g/jaar per vleesvarkensplaats.
- 5) De jaarkosten van de stal met recirculatie zijn 7 tot 14 euro (afhankelijk van scenario) per vleesvarkensplaats hoger dan voor de referentiestal. Deze kosten kunnen ruim worden gecompenseerd door de verwachte extra groei en lagere voerconversie van de vleesvarkens.
- 6) De stal met luchtrecirculatie kan het best energieneutraal worden gemaakt door het plaatsen van zonnepanelen. Hiervoor moet ca. 350 m<sup>2</sup> van de 560 m<sup>2</sup> van de zonzijde van het dak (i.e. ca. 65 %) worden vol gelegd met panelen. De zonnepanelen hebben een terugverdientijd van 8 jaar. Terwijl dit voor een warmtekrachtkoppeling op biogas meer dan 30 jaar is.



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life

---

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 480 10 77  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Livestock Research Rapport 814



---

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---